

Caracterización morfológica y espectral de 6 variedades criollas de arroz (*Oryza sativa* L.) en Panamá

Resumen– El presente trabajo forma parte del proyecto SENACYT IDDS 15-184 titulado “Diseño de un sistema experto basado en firmas espectrales de coberturas agropecuarias en Panamá”. El sitio de estudio se localiza en el Sub-centro Pacífico Marciaga del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá (IDIAP), en El Coco de Penonomé, provincia de Coclé. En este Sub-centro se tienen parcelas cultivadas con variedades de arroz, incluyendo variedades criollas para la conservación de su diversidad genética. Se creó una biblioteca espectral de los cultivos de arroz. Se presentan la descripción varietal de 6 cultivares criollos junto con el análisis de sus firmas espectrales.

Palabras claves—arroz, firmas espectrales, reflectancia, espectralradiómetro.

I. INTRODUCCIÓN

El proyecto SENACYT IDDS 15 – 184 propone el diseño de un sistema experto basado en firmas espectrales de coberturas agropecuarias, tomando como caso de estudio los cultivos de arroz en la provincia de Coclé, Panamá. Esta investigación involucra el uso de tecnología y técnicas modernas: sistema experto, espectralradiometría, teledetección, sistema de información geográfica y bioinformática.

Este estudio busca evaluar el nivel de aporte de las herramientas tecnológicas que sirvan para el monitoreo y manejo de áreas agrícolas, y entre los casos de estudio está el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.); caracterizando las firmas espectrales por variedad y estado fenológico del cultivo.

La investigación tiene como objetivo específico el desarrollo de una base de datos de firmas espectrales georreferenciadas de coberturas de cultivos y vegetación baja (biblioteca espectral), y de aplicaciones de computación para automatizar la clasificación de tipos de coberturas agrícolas y así facilitar la interpretación y análisis de mapas, y haciendo también, más efectivo el manejo localizado del cultivo de arroz, en el área de Coclé.

En relación con la creación de bibliotecas espectrales se tiene muy poca experiencia en países tropicales, por lo que existe la necesidad en Panamá de incrementar la competitividad en la producción agropecuaria con el monitoreo permanentemente del estado y situación de desarrollo de los cultivos.

Este escrito gira en torno a la recolección de información para construir una biblioteca de firmas espectrales de los cultivos agropecuarios, tomando como modelo el arroz por ser un cultivo de interés a nivel nacional en Panamá. La biblioteca incluye la caracterización morfológica de las variedades de arroz evaluadas.

La generación de nuevas variedades de arroz con alto potencial de rendimiento, han influido negativamente en una paulatina reducción de la base genética de los cultivares criollos, debido a que muchos agricultores han abandonado la siembra de criollos o variedades tradicionales, muchas de las cuales poseen gran diversidad genética, y consecuentemente las variedades que ahora se cultivan en poco tiempo se han tornado susceptibles al ataque de diferentes patógenos.

El arroz es una especie muy variable, se conocen cerca de 100,000 cultivares, por lo que sus caracteres morfológicos generales son difíciles de precisar [1].

La descripción varietal debe realizarse con base en el fenotipo observado de las plantas de una variedad. El fenotipo depende del potencial genético (genotipo) de la planta y de su expresión (fenotipo) en relación con los efectos ambientales presentes. Aunque, el arroz es una especie autógama, y por lo tanto, las plantas son de constitución homocigota o pura, los fenotipos pueden variar por causas ambientales en los caracteres cuantitativos y cualitativos cuya expresión sea afectada por acción de múltiples genes [2].

La utilidad de la espectralradiometría se hace más conocida cada día. La medición de la respuesta espectral de las coberturas o superficies terrestre son utilizadas en análisis de teledetección con distintos enfoques, ejemplos: el monitoreo del desarrollo de cultivos agropecuarios y entre ellos el arroz [3-4], cambios en el uso de suelo, perturbación y recuperación de los bosques [5], y almacenamiento de biomasa sobre el suelo y carbono por los bosques [6-7].

La reflectancia espectral es la relación entre el flujo de radiación incidente y la reflejada desde un objeto o cobertura, sobre longitudes de ondas o bandas específicas [8].

El Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH) de la Universidad Tecnológica de Panamá, adquirió un espectralradiómetro portátil GER 1500 (*Spectra Vista Corporation*) para realizar estudios sobre la respuesta espectral de las coberturas vegetales, y el primer objetivo que

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.143>

ISBN: 978-0-9993443-1-6

ISSN: 2414-6390

se planteó fue crear una biblioteca de firmas espectrales de las coberturas agropecuarias en Panamá. En este sentido, inicialmente se quiere analizar la separabilidad espectral de las variedades cultivadas y sus estados fenológicos (evolución de la firma espectral en el tiempo), en los cultivos de arroz; lo cual proveerá las bases para el análisis e interpretación de imágenes multispectrales e hiperespectrales, satelitales o desde drones.

También, con el uso del espectrorradiómetro se podrá ajustar la calibración radiométrica de las imágenes satelitales para corregirlas [9].

El actual desarrollo que están teniendo los equipos de medición multispectrales e hiperespectrales ha promovido la creación de bibliotecas espectrales o colecciones de firmas espectrales tomadas desde espectrorradiómetros [8].

Es recomendable que la biblioteca espectral cuente con una cantidad de ejemplos para cada especie o tipo de cobertura vegetal, ya que son necesarias las réplicas para la realización de análisis espectrales cuantitativos [10].

II. METODOLOGÍA

A. Descripción varietal

La descripción varietal de los cultivares criollos denominados: P1, P2, P7 y P9; y dos cultivares criollos registrados: “Rexoro” y “Ligero” se establecieron en el Subcentro Pacífico Marciaga perteneciente al Centro de Investigación Agropecuaria de Recursos Genéticos, en el corregimiento de El Coco, distrito de Penonomé, provincia de Coclé, Panamá. Este subcentro cuenta con 42 ha., de las cuales 15 ha. son utilizadas para distintos ensayos de arroz. Aquí se utilizan melgas rectangulares y el arroz se cultiva en las mismas por trasplante.

El semillero se realizó en bandejas plásticas de 60 x 30 cm, con suelo de aluvión cernido. Las plantas permanecieron allí por un periodo de 21 días, hasta alcanzar el tamaño adecuado de trasplante.

La siembra se realizó mediante trasplante manual el 14 de febrero del 2017, en una parcela de 2 x 5 metros, preparada bajo el sistema de fanguero, trasplantando una planta por sitio manualmente, con una distancia de 25 x 25 cm entre hileras y plantas. La unidad experimental utilizada fue de 100 plantas seleccionadas al azar. Las cuales se etiquetaron al inicio de la descripción (50% de floración).

Se utilizó semilla de cada uno de los cultivares criollos de arroz recolectadas previamente en campo, de productores artesanales. El manejo agronómico del ciclo de siembra se realizó de manera similar para los seis cultivares. Las semillas fueron hidratadas en agua fresca por 24 horas; luego, fueron incubadas por 24 horas, y se colocaron en un envase plástico a oscuridad. Se alcanzó cerca de un 80% de germinación.

La fertilización fue fraccionada en 5 aplicaciones, la primera con fertilizante 12-24-12 de NPK a razón de 180 Kg/ha, al momento de la nivelación de la parcela. La segunda, tercera y cuarta aplicación se hizo a los 10, 20 y 30 días

después del trasplante con urea al 46% a razón de 180 Kg/ha. La última aplicación se hizo entre los 55 y 60 días después del trasplante, cuando se observaron los primeros primordios florales, con urea al 46% a razón de 180 Kg/ha.

No se realizaron controles químicos de enfermedades; sólo se mantuvo la lámina de agua durante el crecimiento vegetativo y reproductivo de las plantas, y se eliminó al momento de cosecha.

Para la evaluación de las características morfológicas se utilizó un método no destructivo de las plantas. La lista de caracteres utilizada en la descripción varietal proviene de un modelo unificado de criterios, los cuales han sido muy discutidos para lograr adecuarlos a la industria de producción de semillas [2].

B. Firmas espectrales

Se empleó un espectrorradiómetro (*GER 1500 de Spectra Vista Corporation*) que cubre un rango de 350 nm a 1050 nm, con un campo de visión de 8°. Antes de cada medición, de respuesta espectral de la cobertura objetivo, se toma una medida de referencia sobre el *spectralon* (panel de referencia que consiste en una superficie semi-lambertiana calibrada de color blanco). Para la captura de datos de la firma espectral se optó por un muestreo preferencial; tomando, al menos 5 réplicas de la firma espectral del tipo de cobertura identificada a priori, en puntos homogéneos, que caracterizan y representan ese tipo. Se necesita que el cielo este despejado y que la medición entre la referencia y el objetivo sea lo más rápido posible, ya que la condición de luz solar puede cambiar de manera apreciable.

Las mediciones espectrorradiométricas se realizaron en el mes de abril, entre las 10:00 a.m. y las 11:30 a.m., y luego entre la 1:00 p.m. y las 2:30 p.m.; las mediciones se georreferencian utilizando un *GPS Garmin eTrex*.

Se presentan las firmas espectrales promedio para los cultivares criollos P1, P2, P7, P9, Ligero y Rexoro

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Descripción varietal

El cultivar criollo con denominación P1, presenta un hábito de crecimiento intermedio, con característica en la flor de glumas verdes con ápice y estigma de color morado. Con vainas de la hoja de color verde # 42, y hojas del mismo color verde sin vellos o lisa. El ángulo de la hoja bandera con predominancia horizontal (80%) y un (20%) con posición intermedia. A la maduración de la planta, se presentan granos de color dorado con ápice café claro y con aristas pequeñas en menos del 50% de los granos. El grano presentó glumas estériles de color pajizo. La espiga en general presentó una densidad intermedia (80%) y semicompacta en el (20%) y con exorción bien emergida. Con granos de difícil desgrane y mayormente granos fértiles (ver figura 1).

El cultivar criollo con denominación P2, presenta un hábito de crecimiento intermedio, con característica en la flor de glumas verdes con ápice y estigma de color morado. Con

vainas de la hoja de color verde # 43, y hojas del mismo color verde ásperas al tacto hacia el ápice y liso hacia la base de la hoja.



Fig. 1 Espigas en maduración del cultivar criollo P1.

El ángulo de la hoja bandera con predominancia horizontal (100%) y la segunda hoja (20%) con posición intermedia. A la maduración de la planta, se presentan granos de color pajizo con machas de color café sobre fondo pajizo con ápice café y granos con aristas pequeñas en menos del 50% de los granos.



Fig. 2 Parcela con el cultivar criollo P2.

El grano presentó glumas estériles de color pajizo. La espiga en general presentó una densidad intermedia (64%) y semicompacta en el (36%) y con ejerción bien emergida; con granos de difícil desgrane y mayormente granos fértiles (ver figura 2).



Fig. 3 Espigas en inicio de maduración del cultivar criollo P7.

El cultivar criollo con denominación P7, presenta un hábito de crecimiento intermedio, con característica en la flor de glumas verdes con betas moradas definidas sobre todo el lema y palea en un 40% de las espigas y el resto 60% glumas verdes con betas moradas longitudinales hacia la quilla; ápice y estigma de color morado. Con vainas de la hoja de color verde # 39 y betas moradas, y hojas del mismo color verde, ásperas al tacto con pocos vellos distribuidos sobre toda la lámina (ver figura 3).

El ángulo de la hoja bandera y la segunda hoja con predominancia intermedia. A la maduración de la planta, se presentan granos de color pajizo con betas color café y con aristas pequeñas en menos del 50% de los granos. El grano presentó glumas estériles de color morado. La espiga en general presentó una densidad compacta (100%) y con ejerción bien emergida. Con granos de difícil desgrane y mayormente granos fértiles (ver figura 4).



Fig. 4 Color del nudo y el entrenudo del cultivar criollo P7.

El cultivar criollo con denominación P9, presenta un hábito de crecimiento intermedio, con característica en la flor de glumas verdes con ápice y estigma de color morado. Con vainas de la hoja de color verde # 35, y hojas del mismo color verde pubescentes ásperas al tacto y con base de la hoja lisa.



Fig. 5 Glumas en floración del cultivar criollo P9.

El ángulo de la hoja bandera y segunda hoja con predominancia intermedia. A la maduración de la planta, se presentan granos de color dorado con ápice café y sin aristas.

El grano presentó glumas estériles de color pajizo. La espiga en general presentó una densidad intermedia (68%) y compacta en el (32%) y con ejerción bien emergida. Con granos de difícil desgrane y mayormente granos fértiles (ver figura 5).

El cultivar criollo Rexoro, presenta un hábito de crecimiento intermedio, con característica en la flor de glumas verdes con ápice y estigma predominantemente de color morado. Con vainas de la hoja de color verde # 43, y hojas del mismo color verde lisas al tacto o sin vellos. El ángulo de la hoja bandera con predominancia intermedia a semi-erecta y la segunda hoja con posición intermedia.



Fig. 6 Espigas en maduración del cultivar criollo Rexoro.

A la maduración de la planta, se presentan granos de color dorado y ápice café. Granos con aristas pequeñas en menos del 50% de los granos en el 62% de sus espigas y el 38% sin aristas. La espiga en general presentó una densidad intermedia (48%), semicompacta (36%), compacta (13%), abierta (3%) y con ejerción bien emergida. Con granos de difícil desgrane y mayormente granos fértiles (ver figura 6).



Fig. 7 Espiga en estado lechoso-pastoso del cultivar criollo Ligerito.

El cultivar criollo Ligerito, presenta un hábito de crecimiento intermedio, con característica en la flor de glumas verdes con ápice verde y estigma de tono blanquecino. Con vainas de la hoja de color verde amarillento # 49, y hojas del color verde tono claro # 35 lisas al tacto o sin vellos. El ángulo de la hoja bandera con predominancia horizontal y la

segunda hoja con posición intermedia. A la maduración de la planta, se presentan granos de color pajizo y ápice pajizo. Granos con aristas ausentes en el 62% de sus espigas y el 32% con aristas cortas en menos del 50% de sus granos y el 6% con aristas largas. La espiga en general presentó una densidad semicompacta (63%), intermedia (25%), compacta (5%), abierta (7%) y con ejerción bien emergida. Con granos de difícil desgrane y mayormente granos fértiles.

B. Firmas espectrales

Las firmas espectrales son el punto de partida de la mayoría de los trabajos de teledetección; que tratan sobre la caracterización de las coberturas vegetales.

La visualización de las gráficas de firmas espectrales puede ayudar a identificar las bandas que pueden ser utilizadas para discriminar entre clases. Los datos son descargados como archivos de texto con extensión “asc” y guardados en carpetas específicas. Los nombres de los archivos llevan un código que hace referencia a la variedad de arroz y la fecha de la medición.

La figura 8 muestra las firmas espectrales promedio de los 6 cultivares criollos que fueron descritos varietalmente.

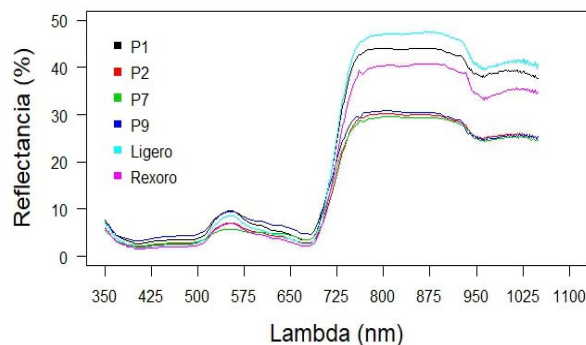


Fig. 8 Firmas espectrales promedio por cultivar criollo de arroz.

También, se presentan de manera individual las firmas espectrales con su variación o rango de espectro. Describir la variabilidad es un aporte importante de la biblioteca espectral, ya que una alta variabilidad sugeriría una dificultad para la identificación espectral de ese tipo de cobertura o especie [10].

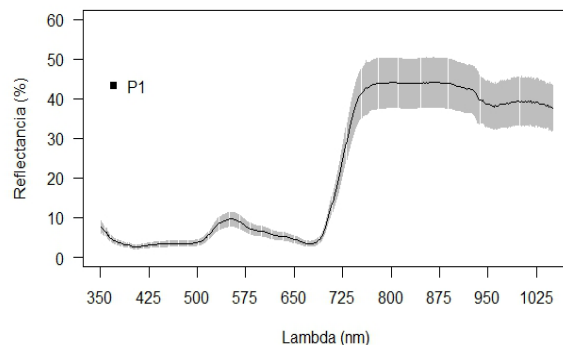


Fig. 9 Firma espectral del cultivar criollo P1.

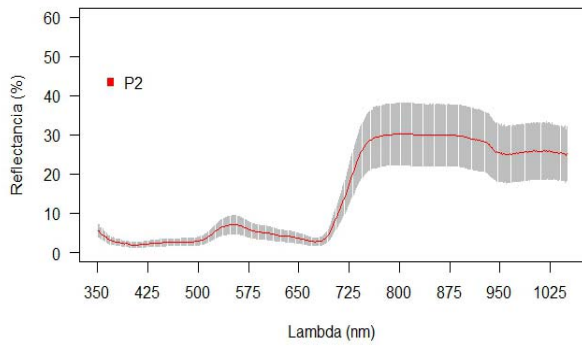


Fig. 10 Firma espectral del cultivar criollo P2.

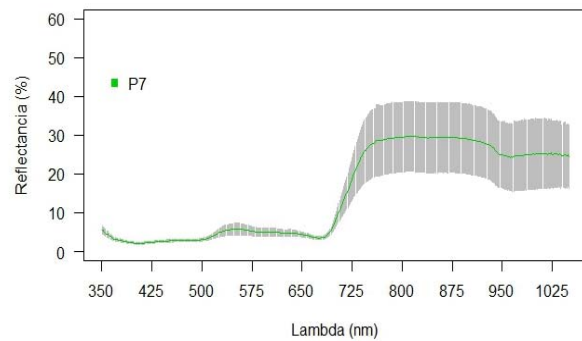


Fig. 11 Firma espectral del cultivar criollo P7.

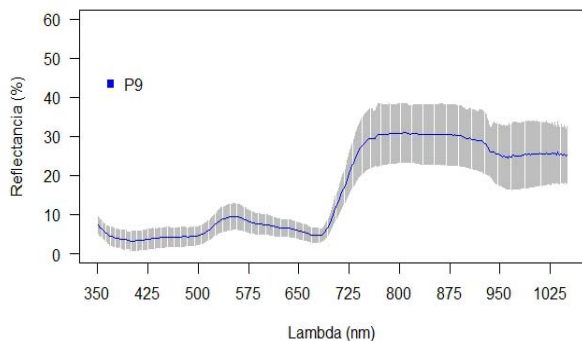


Fig. 12 Firma espectral del cultivar criollo P9.

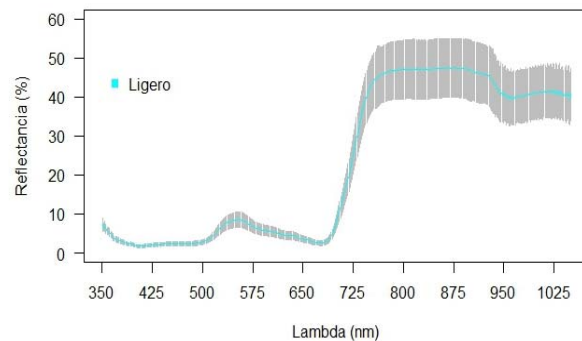


Fig. 13 Firma espectral del cultivar criollo Ligerio.

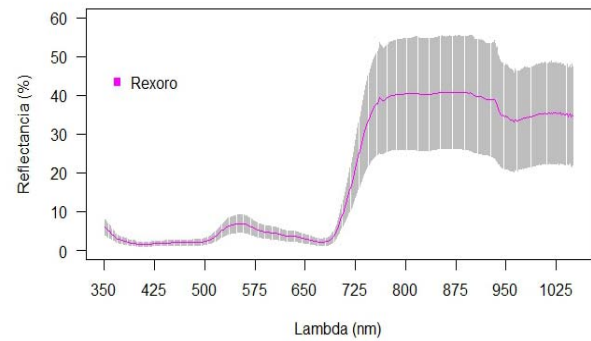


Fig. 14 Firma espectral del cultivar criollo Rexoro.

Las respuestas espectrales de las variedades de arroz criollas muestran las características distintivas típicas de la vegetación (ver figuras 9 - 12).

La vegetación presenta un patrón general con un bajo reflejo en el rango visible, un pico notable en el verde alrededor de 570nm y una alta reflectividad en el infrarrojo cercano [8]. El cultivar P7 presentó un espectro con un pico verde muy sutil, esto puede deberse a que algunas partes de la planta son de color morado.

Alrededor de los 690 nm comienza un empinado ascenso que llega hasta una inflexión alrededor de los 750 nm y hace un plano en el infrarrojo cercano.

Las firmas espectrales de las variedades criollas P1, Ligerio y Rexoro se parecen más entre ellas porque alcanzan el hombro del infrarrojo cercano con valores de reflectancia promedio más altos que las variedades P2, P7 y P9 (ver figuras 9 - 12).

La base de datos cuenta con un protocolo de análisis elaborado en los programas *R* [11] y *RStudio* [12], con el que se puede: importar los datos al programa, obtener las gráficas de las firmas, realizar análisis de componentes principales (PCA), gráficos *biplot*, etc.

A manera de ejemplo se presenta un gráfico 3D generado después de encontrar las longitudes de ondas favorecidas por el PCA para distinguir entre las variedades criollas. Para este análisis sólo se tomaron las longitudes de onda entre los 400 y 750 nm.; porque es en este rango, donde los pigmentos de la hoja son el factor que mejor explica la reflectividad de la cobertura vegetal. La baja reflectividad en la porción visible del espectro se debe al efecto absorbente de los pigmentos [8].

Las clases (objetivos) comparten la misma región del espectro (ver figura 15). Valores relativamente altos de reflectancia en la longitud de onda de 725.04 nm mayormente se relacionan a las variedades criollas Ligerio y P1; y los valores relativamente bajos en esta misma longitud mayormente se relacionan a las variedades P2 y P7.

Las longitudes de onda 513.35 nm y 404.15 nm están algo correlacionadas; valores relativamente altos de reflectancia en estas longitudes de onda mayormente se relacionan a las variedades criollas P9 y P7; y los valores

relativamente bajos en estas longitudes mayormente se relacionan a las variedades Ligero y Rexoro.

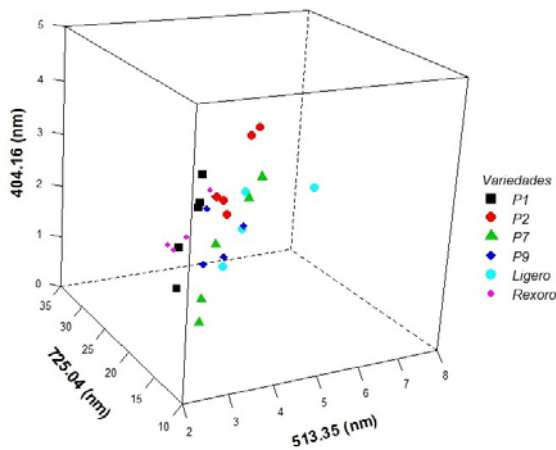


Fig. 15 Característica espacial 3D de los datos espectrales de 6 variedades criollas de arroz.

IV. COMENTARIOS FINALES

Las respuestas espectrales de dos o más coberturas vegetales pueden concordar, lo cual puede hacer difícil y hasta imposible la separabilidad entre ellas. Esto puede deberse a que los espectros de reflectancia de la vegetación dependen de unos pocos parámetros físicos, como: el contenido de clorofila, el contenido de agua y la estructura de la hoja, entre otros [13].

La creación de las bibliotecas y bases de datos espectrales continúa siendo un campo abierto, en el que se necesita trabajar más. De los datos hiperespectrales se puede obtener información útil que se puede aplicar al manejo y monitoreo del desarrollo de los cultivos país.

La agricultura de precisión es un conjunto de técnicas basadas en el estudio y medición de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola para luego en función de esto, adoptar una serie de prácticas administrativas que redundan en la optimización de la producción, a través de la distribución de la cantidad correcta de insumos, dependiendo de la necesidad de cada área cultivada manejada [14]. Panamá está dando pasos hacia la adopción de una agricultura de precisión moderna. Solamente con tecnología e información es posible mejorar el sistema de producción agrícola; de allí la importancia de proyectos de investigación como el IDDS 15 – 184 que combina ciencias básicas con tecnología aplicada para la solución de problemas en el sector agropecuario.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean dar las gracias a la Secretaría Nacional de Ciencias, Tecnología e Innovación (SENACYT) por su apoyo a través de: el proyecto “Diseño de un sistema experto basado en firmas espectrales de coberturas agropecuarias en Panamá” (IDDS 15-184), el Programa de Maestrías Científicas, y el Sistema Nacional de Investigación

por el apoyo a dos de los autores de este trabajo. Queremos expresar nuestra gratitud a todos los colaboradores del CIHH, del Centro de Producción e Investigaciones Agroindustriales (CEPIA) y del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), que contribuyen con este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] J. León, *Botánica de los cultivos tropicales*, 3ra. ed. rev. y aum. 2000. San José, Costa Rica: IICA, 1968.
- [2] G. Muñoz, G. Giraldo, y J. Fernández de Soto, *Descriptores varietales: arroz, frijol, maíz, sorgo*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1993.
- [3] M. L. Gnypt et al., “Hyperspectral Analysis of Rice Phenological Stages in Northeast China”, *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. I-7, pp. 77-82, 2012.
- [4] H. Zheng et al., “Detection of rice phenology through time series analysis of ground-based spectral index data”, *F. Crop. Res.*, vol. 198, pp. 131-139, 2016.
- [5] S. Frolking, M. W. Palace, D. B. Clark, J. Q. Chambers, H. H. Shugart, y G. C. Hurtt, “Forest disturbance and recovery: A general review in the context of spaceborne remote sensing of impacts on aboveground biomass and canopy structure”, *J. Geophys. Res. Biogeosciences*, vol. 114, n.º. G00E02, pp. 1-27, 2009.
- [6] E. Mitchard et al., “Markedly divergent estimates of Amazon forest carbon density from ground plots and satellites”, *Glob. Ecol. Biogeogr.*, vol. 23, n.º. 8, pp. 935-946, 2014.
- [7] G. M. Devagiri et al., “Assessment of above ground biomass and carbon pool in different vegetation types of south western part of Karnataka, India using spectral modeling”, *Trop. Ecol.*, vol. 54, n.º. 2, pp. 149-165, 2013.
- [8] E. Chuvieco Salinero, *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio*, 3ra, 2010 ed. Barcelona, España: Ariel, 2002.
- [9] C. Delgado-Correal y J. E. García, “Aspectos físicos a considerar en la calibración radiométrica de imágenes satelitales”, *UD y la geomática*, vol. 6, pp. 11-18, 2012.
- [10] J. C. Price, “How unique are spectral signatures?”, *Remote Sens. Environ.*, vol. 49, n.º. 3, pp. 181-186, 1994.
- [11] R Core Team, “R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing”, 2017. URL: <https://www.r-project.org/>.
- [12] RStudio Team, “RStudio: Integrated Development for R”. RStudio, Inc., Boston, MA, 2016. URL: <http://www.rstudio.com/>.
- [13] S. Jacquemoud y F. Baret, “Prospect: A model of leaf optical properties spectra”, *Remote Sens. Environ.*, vol. 34, n.º. 2, pp. 75-91, 1990.
- [14] PROCISUR/IICA, *Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. Montevideo, Uruguay, 2006.